Hall-Sonde, Magnetfeld einer langen Spule, Induktion

Aufgaben

1 Eine Hall-Sonde besteht aus einem stromdurchflossenen Leiterplättchen, welches senkrecht zu den Feldlinien in ein Magnetfeld gebracht wird. Zwischen den Punkten P1 und P2 wird die sogenannte Hall-Spannung U_H gemessen (Material 1).

1.1 Erklären Sie die Entstehung einer konstanten Hall-Spannung U_H mittels der auf ein Elektron wirkenden Kräfte. Zeichnen Sie für den Fall, dass sich die konstante Hall-Spannung U_H bereits eingestellt hat, den Geschwindigkeitsvektor des in Material 1 eingezeichneten Elektrons sowie die Vektoren der auf das Elektron wirkenden Kräfte qualitativ als Pfeile ein und geben Sie für diesen Fall auch die Polung von U_H an den Punkten P1 und P2 an.

(8 BE)

1.2 Zeigen Sie, dass die Hall-Spannung U_H proportional zur magnetischen Flussdichte[1] B ist.

(3 BE)

1.3 Erläutern Sie, wie die Hall-Sonde mithilfe eines Magnetfeldes bekannter Flussdichte B_{kal} kalibriert werden kann, um sie zur Messung von Magnetfeldern unbekannter Flussdichte B zu verwenden.

(3 BE)

2 Nun soll in einem Experiment die Abhängigkeit der magnetischen Flussdichte B im Inneren von langen, mit Luft gefüllten Zylinderspulen ($\mu_{r,Luft} = 1$) vom Spulenstrom I und von der Spulenlänge l untersucht werden. Die Windungszahl aller Spulen beträgt jeweils $N = 240$. Es ergibt sich die in Material 2 dokumentierte Messreihe.

2.1 Bestätigen Sie durch rechnerische Auswertung aller geeigneten Messwerte, dass sich die magnetische Flussdichte B proportional zum Spulenstrom I verhält.

(3 BE)

2.2 Untersuchen Sie durch Darstellung aller geeigneten Messwerte in einem $\frac{1}{l}$-B-Diagramm die Art der Abhängigkeit der magnetischen Flussdichte B von der Spulenlänge l.

(4 BE)

2.3 Geben Sie eine Gleichung an, die die Ergebnisse aus den Aufgaben 2.1 und 2.2 zusammenfasst. Ermitteln Sie aus Messung Nr. 3 mithilfe der Formel für die magnetische Flussdichte in einer langen Spule einen Wert für die magnetische Feldkonstante μ_0.

(4 BE)

[1] Die magnetische Flussdichte wird in manchen Lehrbüchern auch als magnetische Feldstärke bezeichnet.

In den Aufgaben 3 (Material 3) und 4 (Material 4) kommen jeweils zwei Spulen zum Einsatz, deren Achsen parallel zueinander verlaufen und die beide luftgefüllt sind ($\mu_{r,Luft} = 1$). Die Spule S1 ist flach und hat einen quadratischen Querschnitt (Windungszahl $N_1 = 100$; Seitenlänge $d_1 = 5{,}0\,\text{cm}$). Die Spule S2 ist eine lange Zylinderspule (Windungszahl $N_2 = 16\,000$; Länge $l_2 = 48{,}0\,\text{cm}$; Durchmesser $d_2 = 8{,}0\,\text{cm}$), die in ihrer Mitte eine schmale Lücke besitzt, sodass dort die Spule S1 hineingeschoben werden kann. In Spule S2 wird ein konstantes, homogenes Magnetfeld der Flussdichte B erzeugt.

3 Zunächst befindet sich die Spule S1 gemäß Versuchsanordnung 1a (Material 3) teilweise in der Spule S2. Die Spulen sind in Reihe geschaltet, d. h. durch beide fließt Strom derselben Stärke.

3.1 Die Spulen S1 und S2 sind so an eine regelbare Gleichspannungsquelle angeschlossen, dass auf S1 zusätzlich zur Gravitationskraft eine Kraft $\vec{F}$ nach unten wirkt.
Geben Sie die Polarität der Anschlüsse A und B der Spule S1 an und begründen Sie diese.

(4 BE)

3.2 Durch die Auswertung einer Messreihe ergibt sich zwischen dem Betrag der Kraft F und der Stromstärke I der Zusammenhang $F \sim I^2$, also $F = k \cdot I^2$. Leiten Sie diesen Zusammenhang her und berechnen Sie die Konstante k für die verwendeten Spulen.
[zur Kontrolle: $k = 0{,}21\,\text{N/A}^2$]

(5 BE)

3.3 Nun wird die Spule S1 so verschoben, wie in Versuchsanordnung 1b (Material 3) dargestellt. Zwei ihrer Seiten befinden sich vollständig im Magnetfeld der Spule S2, die anderen beiden Seiten befinden sich vollständig außerhalb des Magnetfeldes. Berechnen Sie für eine Stromstärke von $I = 5{,}0\,\text{A}$ den Betrag der resultierenden Kraft, die auf die Spule S1 wirkt.

(3 BE)

4 Die Spule S1 wird vom Stromkreis der Spule S2 getrennt und ihre Anschlüsse A und B werden miteinander leitend verbunden. Der Gesamtwiderstand der geschlossenen Spule S1 beträgt $R = 12\,\Omega$. Für das Magnetfeld in der Spule S2 gilt nun $B = 0{,}45\,\text{T}$. Versuchsanordnung 2 (Material 4) zeigt die Startposition der Spule S1. Diese wird von dort an einem Kraftmesser hängend mit dem konstanten Geschwindigkeitsbetrag $v_1 = 4{,}0\,\text{cm/s}$ nach oben gezogen.

4.1 Solange sich die untere Seite der Spule S1 noch vollständig im Magnetfeld befindet, ist die vom Kraftmesser während der Bewegung angezeigte Kraft um einen konstanten Betrag größer als die Gewichtskraft von S1. Begründen Sie dies.

(4 BE)

4.2 Leiten Sie die Formel $F_{zus} = N_1^2 \cdot B^2 \cdot d_1^2 \cdot \frac{v_1}{R}$ für den Betrag der zusätzlich angezeigten Kraft F_{zus} her und berechnen Sie diesen.

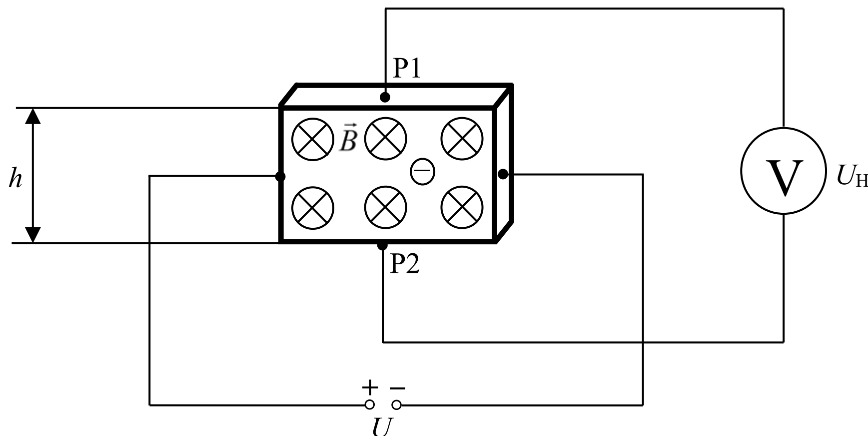
(5 BE)

4.3 Es sei $W_{m,zus}$ die mechanische Arbeit, die durch die zusätzlich angezeigte Kraft F_{zus} aus Aufgabe 4.2 verrichtet werden muss, um die Spule S1 um die Strecke s zu bewegen. Während der Bewegung wird $W_{m,zus}$ in elektrische Energie E_{el} umgewandelt.
Bestätigen Sie durch eine geeignete Rechnung die Gleichung $W_{m,zus} = E_{el}$.

(4 BE)

Material 1

Hall-Sonde mit Schaltung



Die Feldlinien des Magnetfelds zeigen in die Zeichenebene hinein.

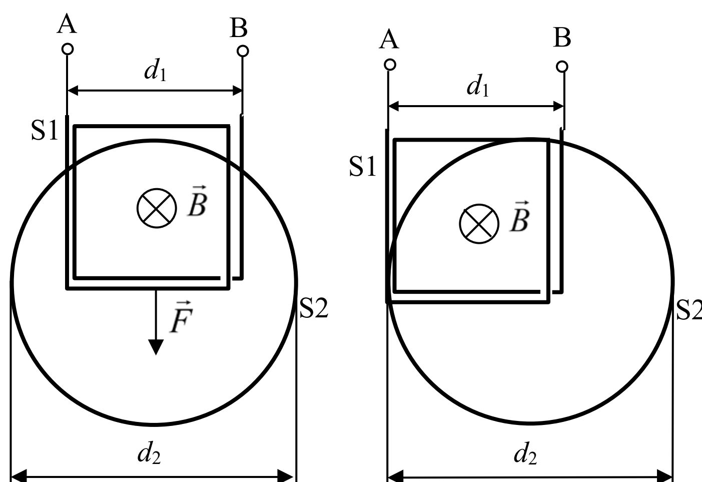
Material 2

Messreihe zur Abhängigkeit von *B* von den Größen *I* und *l*

Messung Nr.	1	2	3	4	5
I in A	2,00	3,00	4,00	4,00	4,00
l in m	0,60	0,60	0,60	0,40	0,30
B in mT	1,01	1,50	2,01	3,02	4,02

Material 3

Versuchsanordnungen 1a und 1b



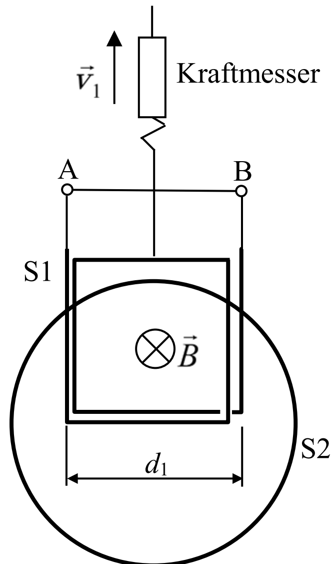
Versuchsanordnung 1a Versuchsanordnung 1b

Schematisch sind nur 1¾ Windungen der Spule S1 und eine Windung der Spule S2 dargestellt. Die Leitungen, die die Spulen S1 und S2 in der Reihenschaltung miteinander verbinden, sind nicht eingezeichnet. In der Versuchsanordnung 1b sollen sich die linken vertikalen Windungen der Spule S1 vollständig außerhalb der Spule S2 befinden.

Die Feldlinien des Magnetfelds zeigen in die Zeichenebene hinein.

Material 4

Versuchsanordnung 2



Die Feldlinien des Magnetfelds zeigen in die Zeichenebene hinein.